

PERANCANGAN SISTEM KONTROL GENETIC-FUZZY: STUDI KASUS PADA PENGENDALIAN TOP AND SIDE END POINT COMPOSITION DAN BOTTOM REFLUKSTEMPERATURE PADA DISTILLATION COLUMN

Meilia Safitri, Aris Triwiyatno, and Wahyudi

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

Abstract

Genetic-Fuzzy Control is one of the control technique which is use to solve the non-linear problems by combining two control methods, Fuzzy Logic Controller and Genetic Algorithm. Genetic algorithm is use to overcome the difficulties in determining the membership function parameter that can optimally work on Fuzzy Logic Controller. In this paper Genetic-Fuzzy control is used to control Shell Heavy Oil Fractionator which is mulvariable system with 3 input and 3 output. Decoupling have the function to reduce interaction between input and output that are not paired.

Keyword : *Genetic-Fuzzy control, distillation column, decoupling, MATLAB Simulink, Multivariable system*

1. Pendahuluan

Shell Heavy Oil Fractionator (SHOF) merupakan jenis *distillation column* yang digunakan untuk memisahkan *heavy oil* (minyak berat) mentah menjadi produk-produk yang diinginkan berdasarkan perbedaan titik didih dari masing-masing produk tersebut. Produk-produk yang dihasilkan dari pengolahan minyak berat ini adalah minyak pelumas dan lilin[1].

Proses pengontrolan *distillation column* sangat berperan besar terhadap kualitas produk yang dihasilkan serta jumlah energi yang digunakan. Pada proses distilasi, *distillation column* memerlukan energi yang sangat besar dalam proses pemanasan dan pendinginan dan biaya yang digunakan untuk memasok energi tersebut lebih dari 50% dari biaya secara keseluruhan. Dengan demikian sistem pengontrolan yang baik dapat menekan biaya produksi sekaligus meningkatkan kualitas produk[2].

Banyak penelitian-penelitian dari berbagai penjuru dunia mengenai sistem pengontrolan SHOF. Mulai dari pengontrolan dengan PID[1], *decentralised* PID[3], maupun *Model Predictive Control* (MPC)[4,5].

Dalam penelitian ini, penulis mencoba mengimplementasikan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) dalam sistem pengontrolan *distillation column*. Manajemen ketidakpastian FLC sangat cocok apabila digunakan dalam mengontrol sistem *multivariable* dan non-linear. Kesulitan terbesar yang dihadapi ketika mendesain suatu FLC adalah menentukan bentuk dan letak fungsi keanggotaan serta aturan (*rule*) yang optimal, tidak

ada aturan yang resmi dan pasti dalam menentukan bentuk dan letak fungsi keanggotaan serta aturan yang digunakan, biasanya hanya berdasarkan pengalaman dari operator manusia yang telah mampu mengendalikan sistem tersebut (*human expert*)[6].

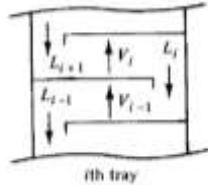
Sejauh ini, banyak metode yang digunakan untuk mendapatkan FLC yang optimal seperti menggunakan *Neural Network*[7], kontrol adaptif[8], dan algoritma genetika[6,9]. Dibandingkan dengan metode optimasi yang lain, algoritma genetika mempunyai banyak kelebihan, dalam proses optimasi algoritma genetika hanya menggunakan fungsi evaluasi dan proses pencarian solusi dimulai dari proses random, sehingga algoritma genetika mempunyai karakteristik yang umum, paralel, serta cepat[6].

Genetic-Fuzzy control merupakan kombinasi antara algoritma genetika dan FLC. Dalam penelitian ini algoritma genetika digunakan dalam mengoptimasi parameter himpunan *fuzzy* untuk mendapat *membership function* FLC yang optimal dalam sistem pengontrolan *Top And Side End Point Composition* dan *Bottom Refluks Temperature* pada *distillation column*. Dekopling digunakan untuk mengurangi interaksi antar *input* dan *output* yang bukan pasangannya, sehingga sistem tersebut dapat dikontrol layaknya sistem *Single Input Single Output* (SISO). Perancangan sistem kontrol dan simulasi sistem pengontrolan *distillation column* ini dilakukan melalui program MATLAB dan SIMULINK.

2. Dasar Teori

A. Plant SHOF

Shell Heavy Oil Fractionator (SHOF) dimodelkan berdasarkan hukum-hukum kesetimbangan massa dan komponen tiap-tiap tray.



Gambar1 Tray ke-i Kolom Fraksinasi

Dengan memperhatikan Gambar 2 diatas, dimana tray ke-I sebagai tray yang d itinjau dengan asumsi-asumsi bahwa :

1. Aku mulasi *phase* uap pada masing-masing tray diabaikan.
2. Molar panas pada saat penguapan antara *phase* uap dan *phase* cairan adalah sama atau dapat dikatakan *phase* uap dan *phase* cairan berada dalam kesetimbangan panas.
3. Energi yang hilang pada kolom diabaikan.
4. Masing-masing tray di asumsikan 100% efisien (sifat *phase* uap yang meninggalkan tray sama dengan sifat *phase* cairan yang ada pada tray).
5. Dinamik condenser dan reboiler diabaikan.

Maka persamaan-persamaan kesetimbangan pada tray ke-i adalah sebagai berikut:

a. Kesetimbangan Massa

$$\frac{d(M_i)}{dt} = L_{i+1} + V_{i-1} - V_i - L_i \quad (1)$$

b. Kesetimbangan Komponen

$$\frac{d(M_i x_i)}{dt} = L_{i+1} x_{i+1} + V_{i-1} y_{i-1} - V_i y_i - L_i x_i \quad (2)$$

Dimana M_i merupakan jumlah massa cairan pada tray ke-i, V_i merupakan laju aliran uap dari tray ke-i, L_i merupakan laju aliran cairan dari tray ke-i, x_i merupakan fraksimol cairan komponen -i pada tray ke-i, y_i merupakan fraksimol uap komponen -i pada tray ke-i, serta $i-1$ dan $i+1$ merupakan tray dibawah dan diatas tray ke-i. Dengan asumsi yang telah dituliskan diatas bahwa akumulasi *phase* uap pada masing-masing tray diabaikan, maka model matematis komponen-i dari masing-masing tray adalah :

$$\begin{aligned} \frac{d(M_i x_i)}{dt} &= L_{i+1} x_{i+1} + V_{i-1} y_{i-1} - V_i y_i - L_i x_i \\ M_i \frac{dx_i}{dt} &= L_{i+1} x_{i+1} + V_{i-1} y_{i-1} - V_i y_i - L_i x_i \\ M_i \frac{dx_i(t)}{dt} &= L_{i+1} x_{i+1}(t) - L_i x_i(t) \end{aligned} \quad (3)$$

Dari persamaan (2.3) didapat :

$$T = \frac{M_i}{L_i} \quad (4)$$

$$K = \frac{L_{i+1}}{L_i} \quad (5)$$

$$T \frac{dx_i(t)}{dt} + x_i(t) = K x_{i+1}(t) \quad (6)$$

dimana T adalah konstanta waktu dan K merupakan gain statis dari proses.

3. Perancangan Sistem

A. Plant SHOF

Model dari *plant* SHOF ini diambil berdasarkan penelitian terdahulu[10] yang merupakan matriks fungsi transfer orde satu dengan waktu tunda atau disebut juga *First Order Plus Dead Time* (FOPDT) yang dinyatakan dalam persamaan (7).

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{4.05e^{-27s}}{50s+1} & \frac{1.77e^{-28s}}{60s+1} & \frac{5.88e^{-27s}}{50s+1} \\ \frac{5.29e^{-18s}}{50s+1} & \frac{5.72e^{-14s}}{60s+1} & \frac{6.90e^{-15s}}{40s+1} \\ \frac{4.38e^{-20s}}{33s+1} & \frac{4.42e^{-22s}}{44s+1} & \frac{7.20}{19s+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix} \quad (7)$$

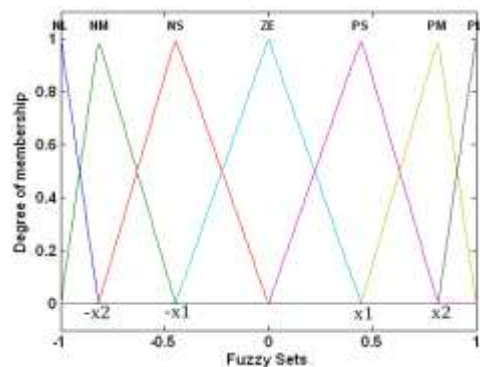
dimana *input* dan *output* merupakan:

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Top End Point Composition} \\ \text{Side End Point Composition} \\ \text{Bottom Refluks Temperature} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Top Draw} \\ \text{Side Draw} \\ \text{Bottom Refluks Duty} \end{bmatrix} \quad (9)$$

B. Genetic-Fuzzy Control

Jumlah *membership function* yang digunakan pada *Fuzzy Logic Controller* (FLC) adalah 7 buah yaitu NL, NM, NS, ZE, PS, PM, dan PL. *Membership function* FLC ini ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2 Membership function pada FLC

Berdasarkan Gambar 2 parameter himpunan *fuzzy* ditentukan oleh nilai x_1 dan x_2 yang akan dioptimasi menggunakan algoritma genetika. Pada algoritma genetika individu direpresentasikan oleh matriks 3×2 , kromosom pada baris pertama akan digunakan oleh *input* pertama (*error*), kromosom baris kedua akan oleh *input* kedua (*delta-error*), dan kromosom digunakan pada baris terakhir akan digunakan oleh *output* (perubahan sinyal kontrol).

Untuk penyederhanaan sistem, proses optimasi parameter himpunan *fuzzy* oleh algoritma genetika akan dilakukan pada masing-masing pasangan *input* dan *output* secara terpisah.

Rule-Base yang digunakan oleh FLC ini ditunjukkan oleh Tabel I.

Tabel 1
Rule-Base Fuzzy Logic Controller

$\Delta error$ error	NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL
NL	NL	NL	NM	NM	NS	NS	ZE
NM	NL	NM	NM	NS	NS	ZE	PS
NS	NM	NM	NS	NS	ZE	PS	PS
ZE	NM	NS	NS	ZE	PS	PS	PM
PS	NS	NS	ZE	PS	PS	PM	PM
PM	NS	ZE	PS	PS	PM	PM	PL
PL	ZE	PS	PS	PM	PM	PL	PL

4. Simulasi dan Analisis

A. Penentuan Membership Function Optimal

Telah dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa optimasi parameter himpunan *fuzzy* dilakukan pada masing-masing pasangan *input* dan *output* secara terpisah. Simulasi sistem pengontrolan dilakukan dengan menggunakan matlab 2010a.

1) Kontroler Top End Point Composition

Untuk mencegah sistem mengalami kegagalan dalam mencapai fitness maksimum (*premature convergence*), maka program algoritma genetika pada masing-masing FLC akan dijalankan sebanyak 5 kali.

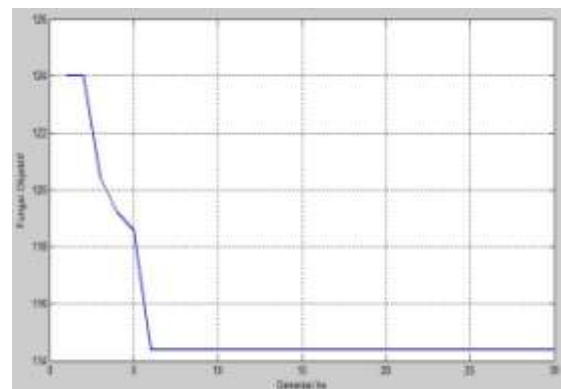
Tabel 2
Perbandingan Nilai Fungsi Objektif pada Kontroler *Top End Point Composition*

No	Individu	Nilai Fungsi Objektif
1.	$\begin{bmatrix} 0,3400 & 0,5400 \\ 0,1865 & 0,7182 \\ 0,2053 & 0,8635 \end{bmatrix}$	115,45
2.	$\begin{bmatrix} 0,5400 & 0,8400 \\ 0,2900 & 0,8900 \\ 0,1300 & 0,8300 \end{bmatrix}$	116,923

3.	$\begin{bmatrix} 0,4621 & 0,7182 \\ 0,2263 & 0,3412 \\ 0,1613 & 0,7933 \end{bmatrix}$	117,77
4.	$\begin{bmatrix} 0,1750 & 0,3860 \\ 0,0818 & 0,5815 \\ 0,4838 & 0,9338 \end{bmatrix}$	114,37
5.	$\begin{bmatrix} 0,4600 & 0,9200 \\ 0,2494 & 0,6850 \\ 0,2425 & 0,8961 \end{bmatrix}$	122,53

Berdasarkan tabel II parameter himpunan *fuzzy* dengan nilai fungsi objektif yang terkecil adalah parameter himpunan *fuzzy* nomor 4, dengan demikian parameter himpunan *fuzzy* yang dipilih sebagai kontroler pada *Top End Point Composition*

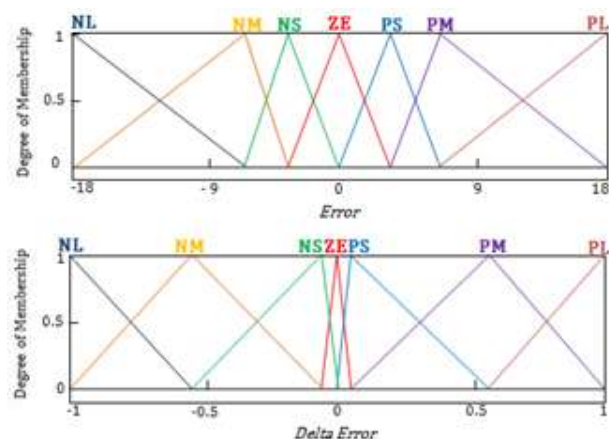
Nilai fungsi objektif algoritma genetika setiap generasi populasi ditunjukkan oleh Gambar 3.

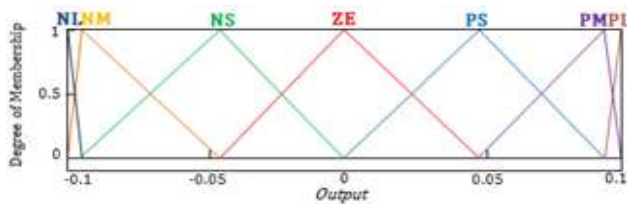


Gambar 3 Kurva konvergensi nilai fungsi objektif pada kontroler *Top End Point Composition*

Gambar 3 menunjukkan kurva konvergensi nilai fungsi objektif yang diperoleh selama optimasi parameter himpunan *fuzzy* menggunakan algoritma genetika, dimana sumbu horizontal merupakan generasi populasi dan sumbu vertikal merupakan nilai fungsi objektif.

Membership function optimal pada kontroler *Top End Point Composition* yang diperoleh dari 30 generasi ditunjukkan oleh Gambar 4.





Gambar 4 Membership fuction optimal pada kontroler Top End Point Composition

2) Kontroler Side End Point Composition

Dalam penentuan *membership function* pada kontroler *Side End Point Composition*, algoritma genetika juga dijalankan sebanyak 5 kali.

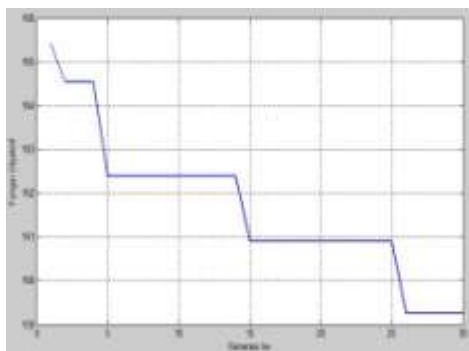
Tabel 3

Perbandingan Nilai Fungsi Objektif pada Kontroler *Side End Point Composition*

No	Individu	Nilai Fungsi Objektif
1.	0,6300 0,9200	163,91
	0,1922 0,9663	
	0,3539 0,8408	
2.	0,6525 0,9501	169,84
	0,2447 0,5963	
	0,4610 0,8703	
3.	0,3947 0,7713	159,46
	0,1014 0,4697	
	0,4698 0,9544	
4.	0,5280 0,9430	162,64
	0,1600 0,6700	
	0,3900 0,8500	
5.	0,6300 0,9900	159,24
	0,1800 0,7500	
	0,3900 0,9300	

Berdasarkan tabel III parameter himpunan *fuzzy* dengan nilai fungsi objektif yang terkecil adalah parameter himpunan *fuzzy* nomor 5, dengan demikian parameter himpunan *fuzzy* yang dipilih sebagai kontroler pada *Side End Point Composition*

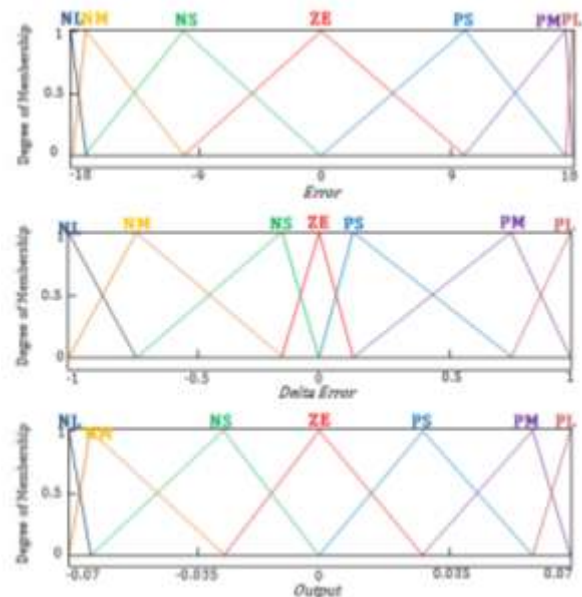
Nilai fungsi objektif algoritma genetika setiap generasi populasi ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5 Kurva konvergensi nilai fungsi objektif pada kontroler *Side End Point Composition*

Gambar 5 menunjukkan kurva konvergensi nilai fungsi objektif yang diperoleh selama optimasi parameter himpunan *fuzzy* menggunakan algoritma genetika, dimana sumbu horizontal merupakan generasi populasi dan sumbu vertikal merupakan nilai fungsi objektif.

Membership function optimal pada kontroler *Side End Point Composition* yang diperoleh dari 30 generasi populasi ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 6 Membership fuction optimal pada kontroler Side End Point Composition

3) Kontroler Bottom Refluks Temperature

Sama hal dalam penentuan *membership function* pada dua kontroler sebelumnya, pada kontroler *Bottom Refluks Temperature* inialgoritma genetika juga dijalankan sebanyak 5 kali.

Tabel 4

Perbandingan Nilai Fungsi Objektif pada Kontroler *Bottom Refluks Temperature*

No	Individu	Nilai Fungsi Objektif
1.	0,1503 0,9578	14,3595
	0,2843 0,9696	
	0,5475 0,9803	
2.	0,3081 0,7179	17,5296
	0,4317 0,7954	
	0,4941 0,9233	
3.	0,0980 0,4250	14,7155
	0,2000 0,4689	
	0,4389 0,7208	
4.	0,2960 0,8143	16,9124
	0,4947 0,8628	
	0,5250 0,9246	
5.	0,1065 0,6417	13,4394
	0,2299 0,7790	
	0,4773 0,8204	

Berdasarkan tabel IV parameter himpunan *fuzzy* dengan nilai fungsi objektif yang terkecil adalah parameter himpunan *fuzzy* nomor 5, dengan demikian parameter himpunan *fuzzy* yang dipilih sebagai kontroler pada *Bottom Refluks Temperature*.

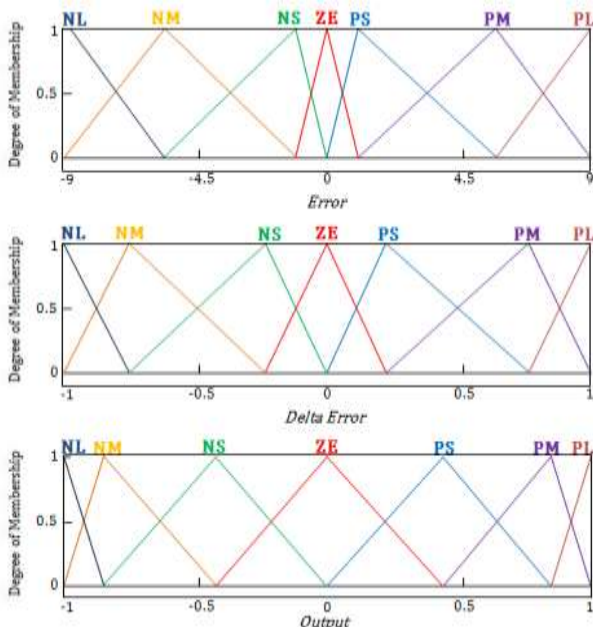
Nilai fungsi objektif algoritma genetika setiap generasi populasi ditunjukkan oleh Gambar 7.



Gambar 7 Kurva konvergensi nilai fungsi objektif pada kontroler *Bottom Refluks Temperature*

Gambar 7 menunjukkan kurva konvergensi nilai fungsi objektif yang diperoleh selama optimasi parameter himpunan *fuzzy* menggunakan algoritma genetika, dimana sumbu horizontal merupakan generasi populasi dan sumbu vertikal merupakan nilai fungsi objektif.

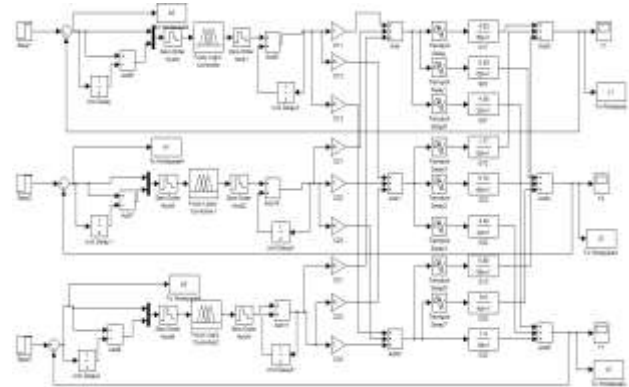
Membership function optimal pada kontroler *Bottom Refluks Temperature* yang diperoleh dari 30 generasi populasi ditunjukkan oleh Gambar 8.



Gambar 8 Membership fuction optimal pada kontroler *Bottom Refluks Temperature*

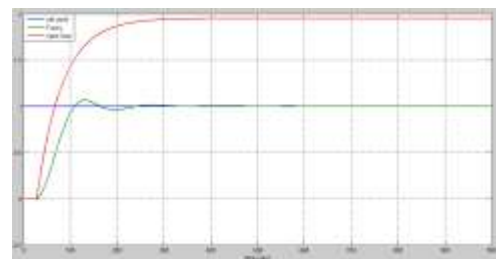
B. Hasil Simulasi

Untuk mengetahui tiap kontroler dilakukan simulasi pengontrolan SHOF dengan *Fuzzy Logic Controller* secara keseluruhan. Rangkaian pengontrolan SHOF menggunakan *Fuzzy Logic Controller* ditunjukkan oleh gambar 9.

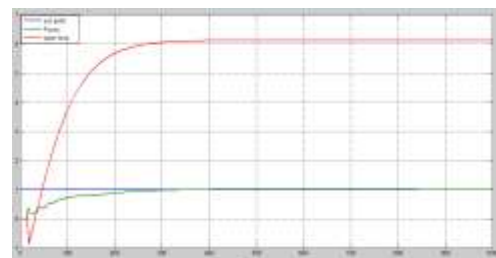


Gambar 9 Rangkaian pengontrolan SHOF menggunakan *Fuzzy Logic Controller*

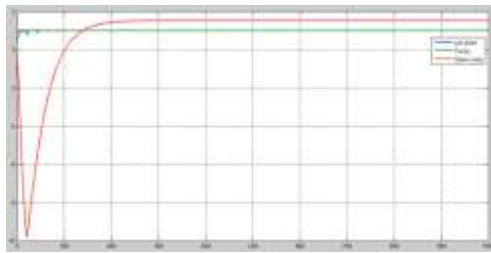
Dari hasil simulasi didapatkan respon masing-masing kontroler yang dibandingkan dengan respon *loop* terbuka sebagai berikut:



Gambar 10 Respon sistem pada pengontrolan *Top End Point Composition*



Gambar 11 Respon sistem pada pengontrolan *Side End Point Composition*



Gambar 12 Respon sistem pada pengontrolan *Bottom Refluks Temperature*

Berdasarkan Gambar 10, 11, dan 12 terlihat bahwa respon *loop* terbuka sistem tersebut masih memiliki *offset* sedangkan pada respon *loop* tertutup dengan *Fuzzy Logic Controller* tidak terdapat *offset*. Hal ini membuktikan bahwa *Fuzzy Logic Controller* memperbaiki respon sistem pada *loop* terbuka.

Tabel 5

Respon sistem pada pengontrolan SHOF

No.	Parameter	Y1	Y2	Y7	Respon Area
1	Rising time (t_r)	64,7s	212,8 s	11,83 s	Respon Transient
2	Settling time (t_s)	223 s	307 s	62,7 s	
3	Peak Time (t_p)	131 s	500 s	19 s	
4	Maksimum Overshoot (M_p)	6,8%	0.34%	4%	Respon Steady State
5	Integral Area Error	74,4	83,59	5,42	

Berdasarkan Tabel V respon Y1 memiliki waktu naik sebesar 64,7 s, respon Y2 sebesar 212,8 s, dan respon Y7 sebesar 11,83 s. Respon Y1 dapat stabil pada detik ke 223, sedangkan respon Y2 baru dapat mencapai kestabilan pada detik ke 307, dan respon Y7 mencapai kestabilan pada detik ke 62,4.

5. Penutup

A. Kesimpulan

Berdasarkan simulasi dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Dengan jumlah generasi sebesar 30 diperoleh nilai fungsi objektif yang terkecil sebesar 114,37 pada kontroler Y1, 159,24 pada kontroler Y2, dan 13,43 pada kontroler Y7.
2. *Range error* optimal yang diperoleh pada kontroler Y1 dan Y2 adalah -18 s/d 18, serta -9 s/d 9 pada kontroler Y7, sedangkan *range output* optimal yang diperoleh adalah -0,1 s/d 0,1 pada kontroler Y1, -0,07 s/d 0,07 pada kontroler Y2, dan -1 s/d 1 pada kontroler Y7.
3. Penggunaan algoritma genetika dapat menentukan parameter himpunan fuzzy yang dapat bekerja secara

optimal pada kontroler Y1, Y2 dan Y7, pada kontroler Y1 parameter himpunan fuzzy yang diperoleh adalah

```

0,1750  0,3860
0,0818  0,5815
0,4838  0,9338

```

C. Saran

Untuk pengembangan sistem lebih lanjut disarankan agar algoritma genetika digunakan secara *online* sehingga *Fuzzy Logic Controller* dapat bekerja secara adaptif.

Referensi

- [1]. Luthfi, J.A.E., *Analisis dan Simulasi Shell Heavy Oil Fractionator (SHOF) menggunakan Metode Kontrol PID*, Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2011
- [2]. Kanthasamy, R., *Nonlinear Model Predictive Control Of A Distillation Column Using Hammerstein Model And Nonlinear Autoregressive Model With Exogenous Input*, Universiti Sains Malaysia, Malaysia, 2009
- [3]. Y. Zhang, S. Li and Q. Zhu, "Backstepping-Enhanced Decentralised PID Control for MIMO Processes With an Experimental Study", *IET Control Theory Appl.*, 1, (3), pp. 704–712, 2007
- [4]. Lee, H., *A Plant-Friendly Multivariable System Identification Framework Based On Identification Test Monitoring*, Disertasi S-3, Arizona State University, Arizona, 2006
- [5]. Shead, L.R.E., Anastassakis, C.G., Rossiter, J.A., "Steady-state Operability of Multi-variable Non-square Systems: Application to Model Predictive Control (MPC) of the Shell Heavy Oil Fractionator (SHOF)", *Mediterranean Conference*, Athens, 2007
- [6]. Yang, S., Li, M., Xu, B., Guo, B., and Zhu, C., "Optimization of Fuzzy Controller Based on Genetic Algorithm", *International Conference*, Beijing, 2010
- [7]. Jin, Y., et al., "Neural Network Based Fuzzy Identification and Its Application to Modeling and Control of Complex Systems", *IEEE Trans. On Systems, Man, and Cybernetics*, 1995
- [8]. Xu, C., Shin, Y.C., "A self-tuning fuzzy controller for a class of multi-input multi-output nonlinear systems", *Elsevier*, 24, 238-250, 2011
- [9]. Pelusi, D., "Optimization of a Fuzzy Logic Controller using Genetic Algorithms", *International Conference*, 2011
- [10]. Garcia, C. and D. Prett, *Fundamental Process Control*, Butterworths, Boston, 1988
- [11]. Vick, A.W., *Genetic Fuzzy Controller for a Gas Turbine Fuel System*, Tesis-S2, University of Cincinnati, 2010
- [12]. Ogata, K., *Modern Control Engineering*, Third Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2002,